

(2)

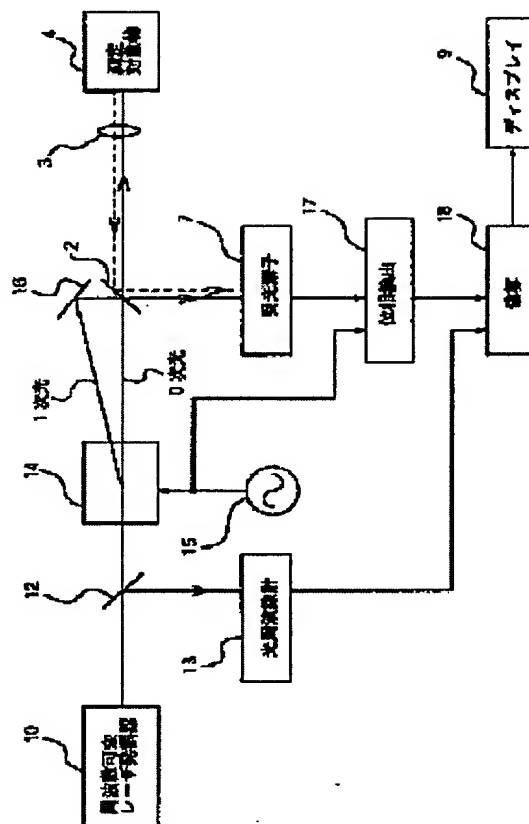
INSTRUMENT FOR MEASURING LIGHT REFRACTIVE INDEX CHANGING POSITION

Patent number: JP5203412
Publication date: 1993-08-10
Inventor: IIZUKA KEIGO; others: 01
Applicant: A T R KOUDENPA TSUSHIN KENKYUSHO:KK
Classification:
 - International: G01B11/00; G01S17/32; G02F2/00
 - european:
Application number: JP19920012833 19920128
Priority number(s):

Abstract of JP5203412

PURPOSE:To improve the resolution of the title instrument and precisely measure the internal structure of an object by providing a plurality of laser oscillators having different oscillation frequencies and generating a plurality of laser beams having different frequencies.

CONSTITUTION:A plurality of laser oscillators having different oscillation frequencies are provided as variable-frequency laser oscillators 10 and a plurality of different laser beams are generated by selectively switching the oscillators 10. After measuring the frequencies of the generated laser beams, an acoustooptical modulator 14 takes out part of the laser beams and irradiates an object 4 with the part of the laser beams. The frequency of the laser beam is shifted by the local oscillation frequency of a locally oscillated signal generated from a high-frequency oscillator 15. A light receiving element 7 calculates the position where a refractive index change occurs on the optical path of the irradiating laser beams based on the phase difference between mixed light and locally oscillated signal and the plurality of frequencies of the measured laser beams by mixing reference light which is the frequency-shifted laser beam and signal light containing the emitted light and scattered light produced by the object 4 with each other, performing heterodyne detection on the mixed light, and detecting 17 the difference between the mixed light and locally oscillated signal.



Data supplied from the esp@cenet database - Patent Abstracts of Japan

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-203412

(43)公開日 平成5年(1993)8月10日

(51)Int.Cl.⁵

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 1 B 11/00

A 7625-2F

G 0 1 S 17/32

4240-5J

G 0 2 F 2/00

7246-2K

審査請求 有 請求項の数1(全 10 頁)

(21)出願番号

特願平4-12833

(22)出願日

平成4年(1992)1月28日

(71)出願人 000127662

株式会社エイ・ティ・アール光電波通信研究所

京都府相楽郡精華町大字乾谷小字三平谷5番地

(72)発明者 飯塚 啓吾

京都府相楽郡精華町大字乾谷小字三平谷5番地 株式会社エイ・ティ・アール光電波通信研究所内

(72)発明者 藤井 智史

京都府相楽郡精華町大字乾谷小字三平谷5番地 株式会社エイ・ティ・アール光電波通信研究所内

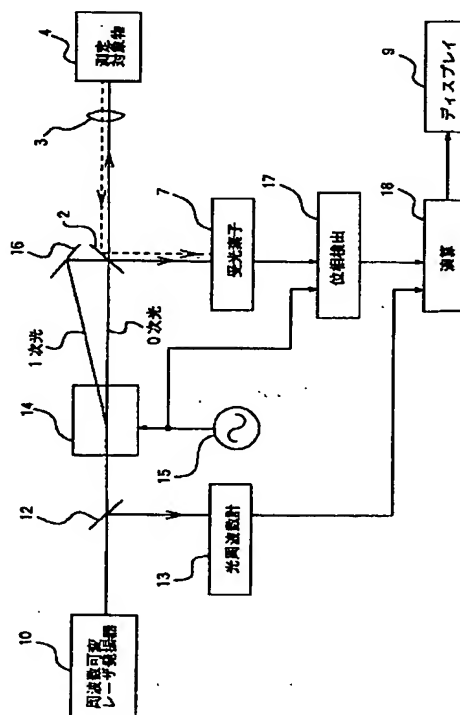
(74)代理人 弁理士 青山 葆 (外2名)

(54)【発明の名称】 光の屈折率変化が生じる位置を測定する装置

(57)【要約】

【目的】 従来例に比較してより高い分解能で、測定対象物の物体において光の屈折率変化が生じる位置を測定することができる装置を提供する。

【構成】 互いに異なる複数の周波数を有する光を発生し、発生された光の複数の周波数を測定し、発生された光を2分配し、2分配した一方の光の周波数を所定の局部発振信号を用いて局部発振周波数だけシフトして、局部発振周波数の周波数差を有する2つの光を周波数シフト手段によって発生する。発生した2つの光のうち一方の光を物体に照射し、物体から反射してくる反射光と散乱光とを含む信号光と、周波数シフト手段から出力される他方の光とを混合してヘテロダイン検波して検波信号を出力する。さらに、検波信号と局部発振信号との位相差を検出した後、検出された上記複数の周波数の光に対する各位相差と、測定された複数の周波数とに基づいて上記照射した光の光路上で上記物体において屈折率変化が生じる位置を演算する。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 互いに異なる複数の周波数を有する光を発生する光発生手段と、

上記光発生手段によって発生された光の複数の周波数を測定する測定手段と、

上記光発生手段によって発生された光の各周波数よりも低い所定の局部発振周波数を有する局部発振信号を発生する信号発生手段と、

上記光発生手段によって発生された光を2分配し、上記2分配した一方の光の周波数を上記信号発生手段によって発生された局部発振信号を用いて上記局部発振信号の局部発振周波数だけシフトして、互いに上記局部発振周波数の周波数差を有する2つの光を発生し、上記発生した2つの光のうち一方の光を上記物体に照射する周波数シフト手段と、

上記周波数シフト手段から出力される一方の光が上記物体に照射されたときに上記物体から反射してくる反射光と散乱光とを含む信号光と、上記周波数シフト手段から出力される他方の光とを混合してヘテロダイン検波して検波信号を出力する検波手段と、

上記検波信号と上記局部発振信号との位相差を検出する位相検出手段と、

上記位相検出手段によって検出された上記複数の周波数の光に対する各位相差と、上記測定手段によって測定された複数の周波数とに基づいて上記照射した光の光路上で上記物体において屈折率変化が生じる位置を演算する演算手段とを備えたことを特徴とする光の屈折率変化が生じる位置を測定する装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光を用いて互いに屈折率が異なる物質の境界位置、すなわち光の屈折率変化が生じる位置を測定する装置に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、例えば光ファイバケーブルの欠陥位置の測定など、測定対象物の物体においてレーザ光の屈折率変化が生じる位置を、周波数変調されたレーザ光を物体に照射して測定する方法として、光周波数領域の反射光測定 (Optical Frequency Domain Reflectometry) の方法 (以下、OFDRの方法という。) が提案されている。このOFDRの方法は、例えば、米国物理学会アプライド・フィジックス・レター (Applied Physics Letter) 39巻、693-695頁、1981年に記載されている。図2に、OFDRの方法を用いた従来例の装置を示す。

【0003】図2において、高周波発振器6は、例えばPLL回路を備えて構成され、所定の初期周波数から所定の周波数変化量のステップでステップ状に変化するよ

2

うに周波数変調される高周波信号を発生してレーザ発振器1に出力するとともに、上記高周波信号の周波数のデータを演算回路8に出力する。レーザ発振器1はレーザダイオードを備え、所定の逆バイアスの直流電圧に高周波発振器6から入力される高周波信号が重畳された逆バイアス電圧がレーザダイオードに印加され、これによって、レーザ発振器1は、当該高周波信号に従って初期周波数 f_0 から周波数変化量 Δf のステップでステップ状に変化するように周波数変調され次の数1によって表される周波数 f_n を有しかつ所定のレベルを有するレーザ光を部分反射鏡2に出力する。

【数1】

$$f_n = f_0 + n \Delta f, \quad (n = 0, 1, \dots, N-1)$$

【0004】部分反射鏡2は、入射するレーザ光を通過させ集光レンズ3を介して測定対象物の物体4に照射光として照射するとともに、入射するレーザ光の一部を分岐し、分岐したレーザ光を反射鏡5に出力する。物体4に照射されたレーザ光は、当該物体4においてレーザ光の屈折率変化が生じる各位置で反射及び散乱し、それらの反射光と散乱光が再び集光レンズ3と部分反射鏡2とを介して、信号光として受光素子7に入射する。反射鏡5に入射したレーザ光は、反射鏡5によって入射方向と逆の方向で反射した後、再び部分反射鏡2を介して、参照光として受光素子7に入射する。

【0005】受光素子7は、例えばフォトダイオードを備え、非線形の入出力特性を有し、入射する参照光と信号光とを混合して直流成分の信号 (以下、直流信号という。) に変換して演算回路8に出力する。これに回答して、演算回路8は、A/D変換回路を備え、入力された直流信号を直流信号のデータ H' (f_n) にA/D変換するとともに、予め測定された高周波信号の周波数とレーザ光の周波数との関係のデータに基づいて、上記高周波発振器6から入力される高周波信号の周波数のデータをレーザ発振器1から出力されるレーザ光の周波数のデータ f_n に変換する。次いで、演算回路8は、直流信号のデータ H' (f_n) と上記変換されたレーザ光の周波数のデータ f_n に基づいて、次のように演算を行う。

【0006】いま、上記測定対象物の物体4内でレーザ光の光路の1本の検出ラインL上において測定する各位置を示す、例えば集光レンズ3からの距離 X_k を、基準距離 X_0 と離散間隔 ΔX とを用いて次の数2によって表す。

【数2】

$$X_k = X_0 + k \Delta X, \quad (k = 0, 1, \dots, N-1)$$

【0007】このとき、上記複数の周波数 f_n に対する受光素子7に入射する信号光のデータ H (f_n) は次の数3によって表すことができる。

【数3】

3

4

$$H(f_n) = \sum_{k=0}^{N-1} h(s_k) \exp(j 4 \pi \frac{f_n}{v} X_k)$$

ここで、 v はレーザ光の光速であり、また、 s_k は距離 X_k の位置において発生する反射光及び散乱光の強度であり、 $h(s_k)$ は強度 s_k に比例する係数（以下、強度係数という。）である。

【0008】次いで、数3に数1と数2とを入力するこ

$$H'(f_n) = \sum_{k=0}^{N-1} h'(s_k) \exp(j 4 \pi \frac{n k}{v} \Delta f \Delta X)$$

ここで、 $h'(s_k)$ は、 $h(s_k)$ と同様に距離 X_k の位置で発生する反射光と散乱光の強度 s_k に比例する強度係数である。

【0009】一方、公知のサンプリング定理から次の数5が成立する。

$$H'(f_n) = \sum_{k=0}^{N-1} h'(s_k) \exp(j 2 \pi \frac{n k}{N})$$

【0011】上記数6は、離散逆フーリエ変換の形式をしており、数6で表される直流信号のデータ $H'(f_n)$ を離散フーリエ変換することによって、次の数

$$h'(s_k) = \sum_{n=0}^{N-1} H'(f_n) \exp(-j 2 \pi \frac{k n}{N})$$

【0012】すなわち、演算回路8は、上記変換されたレーザ光の周波数のデータ f_n に基づいて、直流信号のデータ $H'(f_n)$ に対して離散フーリエ変換の処理を行って、数7で表される強度係数 $h'(s_k)$ を演算した後、演算された各距離 X_k の位置に対する強度係数 $h'(s_k)$ のデータをディスプレイ9に出力して表示する。この表示されたデータにおいて、強度係数 $h'(s_k)$ がピークとなる位置が、レーザ光の光路上の検出ラインにおいてレーザ光の屈折率変化が生じる位置であり、これらの情報から異なる物質の境界面の位置を特定することができ、測定対象物の物体4の厚さ、幅などの寸法を測定して当該物体4の内部構造を測定することができる。

【0013】この従来例のOFDRの方法で分解できる分解能の距離 ΔX は、上記数2から次の数8で表すことができる。

$$\text{【数8】 } \Delta X = v / (2 N \Delta f)$$

【0014】上記数8は、レーザ光の周波数変化幅 $N \Delta f$ が大きくなれば分解能が高くなることを示している。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述の従来例の装置において、一般に、レーザ発振器1で発振するレーザ光を、周波数変調された高周波信号を用いて周波数変調を行ったときに得られる周波数変化幅は高々

とによって、受光素子7によって変換して得られる直流信号のデータ $H'(f_n)$ は参照光と信号光との位相差の情報を含み、次の数4で表すことができる。

【数4】

$$\text{【数5】 } 2 N \Delta f \Delta X / v = 1$$

【0010】さらに、数4に数5を代入することによって、次の数6を得ることができる。

【数6】

7によって表される強度係数 $h'(s_k)$ を得ることができる。

【数7】

100GHzであり、物質の屈折率を1とした場合、分解能は1.5mm以下であり、分解能が比較的低いという問題点があった。

30 【0016】また、反射光や散乱光が発生する位置は、例えば参照光と、反射光と散乱光とを含む信号光との位相差から当該信号光の光路長を0とした距離として求めることができるが、従来例の方法を用いた装置においては、参照光と上記信号光との周波数が同一であるため、位相の遅れと進みの判断をすることができないため、上記信号光の距離差でしか求めることができないという問題点があった。

40 【0017】本発明の目的は以上の問題点を解決し、従来例に比較してより高い分解能で、測定対象物の物体において光の屈折率変化が生じる位置を測定することができる装置を提供することにある。

【0018】

【課題を解決するための手段】本発明に係る光の屈折率変化が生じる位置を測定する装置は、互いに異なる複数の周波数を有する光を発生する光発生手段と、上記光発生手段によって発生された光の複数の周波数を測定する測定手段と、上記光発生手段によって発生された光の各周波数よりも低い所定の局部発振周波数を有する局部発振信号を発生する信号発生手段と、上記光発生手段によって発生された光を2分配し、上記2分配した一方の光

5

の周波数を上記信号発生手段によって発生された局部発振信号を用いて上記局部発振信号の局部発振周波数だけシフトして、互いに上記局部発振周波数の周波数差を有する2つの光を発生し、上記発生した2つの光のうち一方の光を上記物体に照射する周波数シフト手段と、上記周波数シフト手段から出力される一方の光が上記物体に照射されたときに上記物体から反射してくる反射光と散乱光とを含む信号光と、上記周波数シフト手段から出力される他方の光とを混合してヘテロダイン検波して検波信号を出力する検波手段と、上記検波信号と上記局部発振信号との位相差を検出する位相検出手段と、上記位相検出手段によって検出された上記複数の周波数の光に対する各位相差と、上記測定手段によって測定された複数の周波数とに基づいて上記照射した光の光路上で上記物体において屈折率変化が生じる位置を演算する演算手段とを備えたことを特徴とする。

【0019】

【作用】以上のように構成された装置においては、上記光発生手段は、互いに異なる複数の周波数を有する光を発生し、上記測定手段は、上記光発生手段によって発生された光の複数の周波数を測定する。次いで、上記周波数シフト手段は、上記光発生手段によって発生された光を2分配し、上記2分配した一方の光の周波数を上記信号発生手段によって発生された局部発振信号を用いて上記局部発振信号の局部発振周波数だけシフトして、互いに上記局部発振周波数の周波数差を有する2つの光を発生し、上記発生した2つの光のうち一方の光を上記物体に照射する。さらに、検波手段は、上記周波数シフト手段から出力される一方の光が上記物体に照射されたときに上記物体から反射してくる反射光と散乱光とを含む信号光と、上記周波数シフト手段から出力される他方の光とを混合してヘテロダイン検波して検波信号を出力し、上記位相検出手段は、上記検波信号と上記局部発振信号との位相差を検出し、上記演算手段は、上記位相検出手段によって検出された上記複数の周波数の光に対する各位相差と、上記測定手段によって測定された複数の周波数とに基づいて上記照射した光の光路上で上記物体において屈折率変化が生じる位置を演算する。

【0020】従って、本発明に係る装置においては、上記光発生手段を用いて従来例に比較してより大きい周波数変化幅を有する複数の周波数の光を発生することができるので、上記数8を参照して説明したように、従来例に比較して分解能を向上させることができ、しかも、互いに上記局部発振周波数の周波数差を有する2つの光を発生し、上記発生した2つの光のうち一方の光を上記物体に照射したときに上記物体から反射してくる光と、上記発生した2つの光のうちの他方の光とを混合してヘテロダイン検波し、そのヘテロダイン検波信号と上記局部発振信号との位相差を検出し、検出された位相差と、上記測定されたレーザ光の複数の周波数とに基づいて上

6

記照射した光の光路上において屈折率変化が生じる位置を測定するので、反射光と散乱光が発生する位置のある基準位置からの距離にかかわらず、屈折率変化が生じる位置を測定することができる。

【0021】

【実施例】以下、図面を参照して本発明に係る実施例について説明する。図1に、本発明に係る一実施例である、レーザ光を用いて物体においてレーザ光の屈折率変化が生じる位置を測定する装置を示す。なお、図1において図2と同様のものについては同一の符号を付している。

【0022】本実施例の装置は、互いに異なる複数のレーザ光を選択的に切り換えて発生し、発生されたレーザ光の周波数を測定し、音響光学変調器（以下、AOMという。）14によって上記発生されたレーザ光の一部を取り出して測定対象物の物体4に照射するとともに、高周波発振器15によって発生される局部発振信号の局部発振周波数 f_d だけ上記発生されたレーザ光の周波数をシフトし、周波数がシフトされたレーザ光である参照光と、上記物体4において反射及び散乱して生じる反射光と散乱光とを含む信号光とを受光素子7によって混合してヘテロダイン検波し、そのヘテロダイン検波信号と上記局部発振信号との位相差を検出し、検出された位相差と、上記測定されたレーザ光の複数の周波数とに基づいて上記照射したレーザ光の光路上において屈折率変化が生じる位置を測定することを特徴としている。

【0023】図1において、レーザ発振器1は、それぞれレーザダイオードを備え発振周波数が互いに異なる複数のレーザ発振器を備え、当該複数のレーザ発振器を選択的に切り換えて、互いに異なる周波数 f_n を有する複数のレーザ光を発生してビームスプリッタ12に出力する。ビームスプリッタ12は、入射するレーザ光を通過させてAOM14に出力するとともに、上記レーザ光の一部を分岐して光周波数計13に出力する。光周波数計13は、入射したレーザ光の周波数を測定し、測定した周波数のデータ f_n を演算回路18に出力する。

【0024】高周波発生器15は、例えば40MHz乃至100MHzなどの所定の局部発振周波数 f_d を有しかつ所定のレベルを有する局部発振信号を発生してAOM14及び位相検出器17に出力する。AOM14は、ビームスプリッタ12から入射するレーザ光をそのまま0次光の照射光として部分反射鏡2と集光レンズ3とを介して測定対象物の物体4に照射するとともに、入射するレーザ光の周波数を、高周波発生器15から入力される局部発振信号を用いて上記局部発振周波数 f_d だけシフトし、シフトした周波数を有するレーザ光を1次光の参照光として反射鏡16及び部分反射鏡2とを介して受光素子7に出力する。上記物体4に照射されたレーザ光は、当該物体4においてレーザ光の屈折率変化が生じる各位置で反射及び散乱し、それらの反射光と散乱光が再

び集光レンズ3と部分反射鏡2とを介して、信号光として受光素子7に入射する。

【0025】受光素子7は、例えばアバラシェ・フォトダイオードを備え、非線形の入出力特性を有し、入射する参照光と信号光とを混合してヘテロダイン検波して、局部発振周波数 f_d と同一の周波数を有しかつ上記信号光と上記参照光との間の位相差を示す検波信号（以下、ヘテロダイン検波信号という。）を位相検出器17に出力する。位相検出器17は、上記ヘテロダイン検波信号と高周波発振器15から入力される局部発振信号との位相差を検出し、検出した位相差を示す信号（以下、位相差信号という。）を演算回路18に出力する。

【0026】これに应答して、演算回路18は、A/D変換回路を備え、入力された位相差信号を位相差信号のデータにA/D変換し、ここで、位相差信号のデータは、従来例における直流信号のデータ $H'(f_n)$ に対応し、以下、データ $H'(f_n)$ という。次いで、演算回路18は、従来例と同様に、光周波数計13によって測定されたレーザ光の周波数のデータ f_n に基づいて、位相差信号のデータ $H'(f_n)$ に対して離散フーリエ変換の処理を行って、数7で表される強度係数 $h'(s_k)$ を演算した後、演算された距離 X_k の各位置に対する強度係数 $h'(s_k)$ のデータをディスプレイ9に出力して表示する。この表示されたデータにおいて、強度係数 $h'(s_k)$ がピークとなる位置が、レーザ光の光路上の検出ラインにおいてレーザ光の屈折率変化が生じる位置であり、これらの情報から異なる物質の境界面の位置を特定することができ、測定対象物の物体4の厚さ、幅などの寸法を測定して当該物体4の内部構造を測定することができる。

【0027】さらに、以上のように構成された本実施例の装置を用いて実験を行った結果について説明する。

【0028】図3は、図1の実施例の装置を用いて実験を行った測定対象物である光ファイバケーブルの断面を示す正面図と、その実験結果である、検出ラインL上の距離に対する反射光と散乱光の正規化強度を示すグラフである。ここで、正規化強度は、最大の当該強度を1として正規化したものであり、図4のグラフについても同様である。なお、上記検出ラインLは、集光レンズ3の光軸、及び物体4に照射されるレーザ光の光路の中心軸に一致している。

【0029】図3に示すように、当該実験で用いた光ファイバケーブルは、外径 $200\mu\text{m}$ のコア部20と、コア部20を取り巻く外径 $250\mu\text{m}$ のクラッド部21とから構成され、集光レンズ3からのレーザ光が、当該光ファイバケーブルの側面から矢印22の方向で検出ラインLに沿ってケーブル断面の中心を通過するように、光ファイバケーブルに照射される。当該装置を用いて得られた図3の実験結果のグラフから明らかなように、検出ラインL上において、クラッド部21の外表面の位置P

1', P4'がそれぞれ正規化強度のピークP1, P4に対応しており、コア部20とクラッド部21との境界面の位置P2', P3'はそれぞれ正規化強度のピークP2, P3に対応している。従って、レーザ光の屈折率変化が生じる上記各位置P1', P2', P3', P4'を測定することができ、これによって、コア部20の外径やクラッド部21の外径などの寸法を測定することができる。

【0030】図4は、図1の実施例の装置を用いて実験を行った測定対象物である矩形の空隙31を有する矩形のガラス板30を示す正面図と、その実験結果である、検出ラインL上の距離に対する反射光と散乱光の正規化強度を示すグラフである。

【0031】図4に示すように、当該実験で用いたガラス板30は、 $321\mu\text{m}$ の厚さを有し、厚さ方向と垂直なガラス板30の幅方向で、当該ガラス板30の幅を貫通しガラス板30の厚さ方向の $27\mu\text{m}$ の長さ（以下、間隙の深さという。）を有する間隙31が形成されている。集光レンズ3からのレーザ光が、図上左側のガラス板30の外表面の側から、その表面に対して垂直な矢印32で示されるガラス板30の厚さ方向で、検出ラインLに沿って間隙31を通過しかつガラス板30の厚さを貫通するように照射される。当該装置を用いて得られた図4の実験結果のグラフから明らかなように、検出ラインL上において、ガラス板30の外表面の位置P11', P14'がそれぞれ正規化強度のピークP11, P14に対応しており、ガラス板30と間隙31との境界面の位置P12', P13'がそれぞれ正規化強度のピークP12, P13に対応している。従って、レーザ光の屈折率変化が生じる上記各位置P11', P12', P13', P14'を測定することができ、これによって、ガラス板30の厚さや間隙31の深さなどの寸法を測定することができる。

【0032】以上説明した実験例から明らかなように、本実施例の装置を用いることにより、物体の厚さ、長さなどの寸法の測定、光ファイバケーブル、半導体基板や光導波路基板などの屈折率の異なる複数の物質で構成された物体の内部の構造の測定、並びに、物体内部に生じる欠陥の位置及び大きさなどの測定を行うことができる。

【0033】なお、以上の実験においては、中心波長 $1.55\mu\text{m}$ のレーザ光を用い、レーザ光の周波数変化幅を 12.5THz p-p に設定した。この本実験において得られる分解能は、測定対象物の物体4の屈折率を1とした場合、 $12\mu\text{m}$ となる。一方、従来例の分解能は上述のように最大 1.5mm であるので、本実施例の装置は、従来例に比較して100倍以上の分解能を有する。

【0034】すなわち、本実施例の装置においては、図1に示すように、互いに異なる複数のレーザ光を選択的

に切り換えて従来例に比較してより大きい周波数変化幅を有する複数のレーザ光を発生し、発生されたレーザ光の周波数を測定し、AOM 14によって上記発生されたレーザ光の一部を取り出して測定対象物の物体4に照射するとともに、高周波発振器15によって発生される局部発振信号の局部発振周波数 f_d だけ上記発生されたレーザ光の周波数をシフトし、周波数がシフトされたレーザ光である参照光と、上記物体4において反射及び散乱して生じる反射光と散乱光とを含む信号光とを受光素子7によって混合してヘテロダイン検波し、そのヘテロダイン検波信号と上記局部発振信号との位相差を検出し、検出された位相差と、上記測定されたレーザ光の複数の周波数とに基づいて上記照射したレーザ光の光路上において屈折率変化が生じる位置を測定するので、反射光と散乱光が発生する位置の例えば集光レンズ3からの距離にかかわらず、従来例に比較して高い分解能で屈折率変化が生じる位置を測定することができ、これによって、より精密に物体4の内部構造を測定することができる。

【0035】以上の実施例においては、測定対象物の物体4の1点に対してレーザ光を照射しているが、本発明はこれに限らず、測定対象物を回転させ、もしくは1次元又は2次元で走査させ、もしくはレーザ光を1次元又は2次元で走査することによって、測定対象物の物体のより複雑な形状及び構造を、2次元又は3次元で測定するようにしてもよい。

【0036】以上の実施例において、周波数可変レーザ発振器10として、発振周波数が互いに異なる複数のレーザ発振器を備え、当該複数のレーザ発振器を選択的に切り換えて互いに異なる周波数を有する複数のレーザ光を発生している。しかしながら、本発明はこれに限らず、周波数可変レーザ発振器10を、空洞共振器内に1つのレーザダイオードが載置されて構成されたレーザ発振器において、空洞共振器の空洞長をステップ状に変化することによって、互いに異なる複数の周波数を有するレーザ光を選択的に発生させるようにしてもよい。また、周波数可変レーザ発振器10において、例えば複数のレーザ発振器を備えて、上記複数のレーザ光を同時に発生させ、受光素子7において互いに周波数が異なる複数の信号光を波長選択することができる帯域通過光学フィルタを備え、位相検出器17及び演算回路18において複数の周波数のレーザ光に対して上記の位相検出及び演算を行うようにしてもよい。

【0037】以上の実施例において、AOM 14は、ビームスプリッタ12から入射するレーザ光をそのまま0次光の照射光として部分反射鏡2と集光レンズ3とを介して測定対象物の物体4に照射するとともに、入射するレーザ光の周波数を、高周波発生器15から入力される局部発振信号を用いて上記局部発振周波数 f_d だけシフトし、シフトした周波数を有するレーザ光を1次光の参照光として反射鏡16及び部分反射鏡2とを介して受光

素子7に出力している。本発明はこれに限らず、AOM 14の0次光を参照光として用いて受光素子7に出力し、一方、AOM 14の1次光を照射光として物体4に照射してもよい。

【0038】

【発明の効果】以上詳述したように本発明によれば、互いに異なる複数の周波数を有する光を発生し、上記発生された光の複数の周波数を測定し、上記発生された光を2分配し、上記2分配した一方の光の周波数を所定の局部発振信号を用いて上記局部発振信号の局部発振周波数だけシフトして、互いに上記局部発振周波数の周波数差を有する2つの光を周波数シフト手段によって発生し、上記発生した2つの光のうち一方の光を上記物体に照射し、上記周波数シフト手段から出力される一方の光が上記物体に照射されたときに上記物体から反射してくる反射光と散乱光とを含む信号光と、上記周波数シフト手段から出力される他方の光とを混合してヘテロダイン検波して検波信号を出力し、上記検波信号と上記局部発振信号との位相差を検出した後、上記検出された上記複数の周波数の光に対する各位相差と、上記測定された複数の周波数とに基づいて上記照射した光の光路上で上記物体において屈折率変化が生じる位置を演算する。

【0039】従って、光発生手段を用いて従来例に比較してより大きい周波数変化幅を有する複数の周波数の光を発生することができるので、上記数8を参照して説明したように、従来例に比較して分解能を向上させることができ、しかも、互いに上記局部発振周波数の周波数差を有する2つの光を発生し、上記発生した2つの光のうちの一方の光を上記物体に照射したときに上記物体から反射してくる光と、上記発生した2つの光のうちの他方の光とを混合してヘテロダイン検波し、そのヘテロダイン検波信号と上記局部発振信号との位相差を検出し、検出された位相差と、上記測定されたレーザ光の複数の周波数とに基づいて上記照射した光の光路上において屈折率変化が生じる位置を測定するので、反射光と散乱光が発生する位置のある基準位置からの距離にかかわらず、屈折率変化が生じる位置を測定することができる。これによって、例えば、より精密に上記物体の内部構造を測定することができるという利点がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明に係る一実施例である、レーザ光を用いて物体においてレーザ光の屈折率変化が生じる位置を測定する装置のブロック図である。

【図2】 OFDRの方法を用いた従来例の装置のブロック図である。

【図3】 図1の実施例の装置を用いて実験を行った測定対象物である光ファイバケーブルの断面を示す正面図と、その実験結果である、検出ラインL上の距離に対する反射光と散乱光の正規化強度を示すグラフである。

【図4】 図1の実施例の装置を用いて実験を行った測

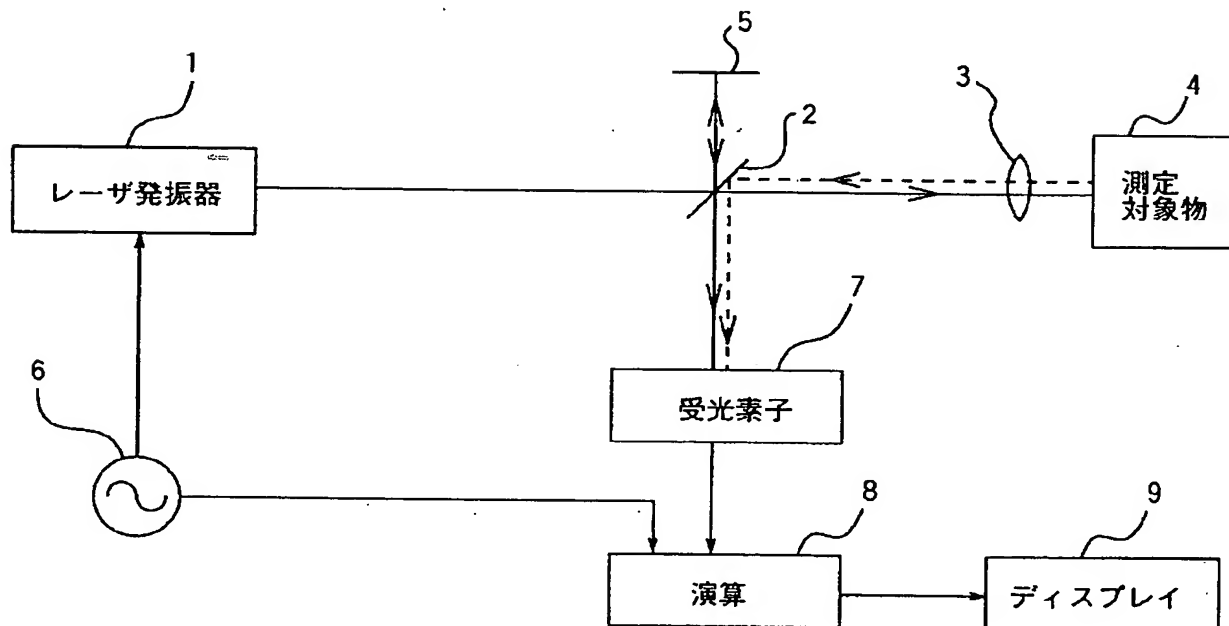
定対象物である矩形の空隙を有する矩形のガラス板を示す正面図と、その実験結果である、検出ラインL上の距離に対する反射光と散乱光の正規化強度を示すグラフである。

【符号の説明】

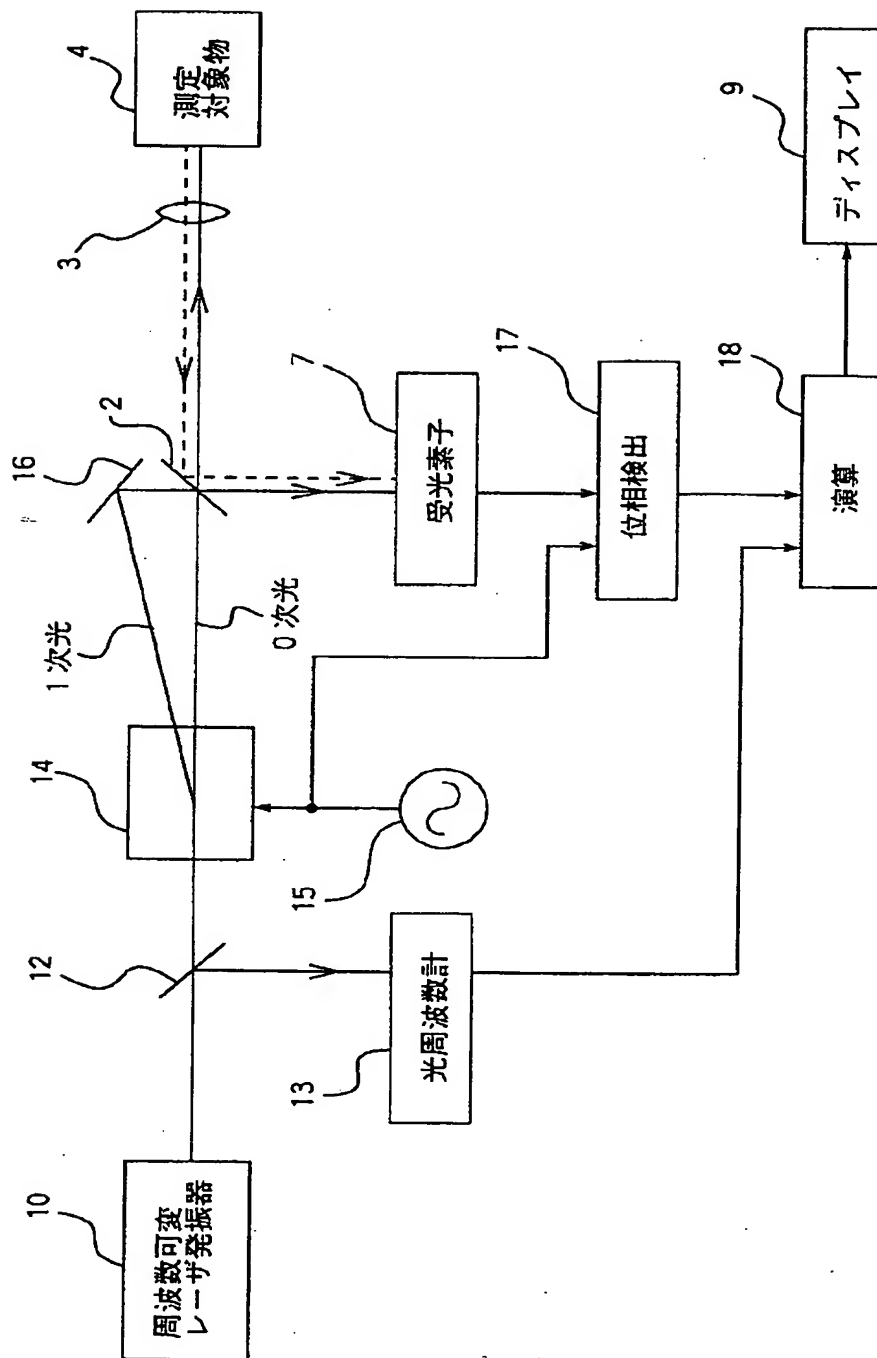
2…部分反射鏡、
3…レンズ、
4…測定対象物の物体、
7…受光素子、
9…ディスプレイ、

10…周波数可変レーザー発振器、
12…ビームスプリッタ、
13…光周波数計、
14…音響光学変調器（AOM）、
15…高周波発振器、
16…反射鏡、
17…位相検出器、
18…演算回路、
L…検出ライン。

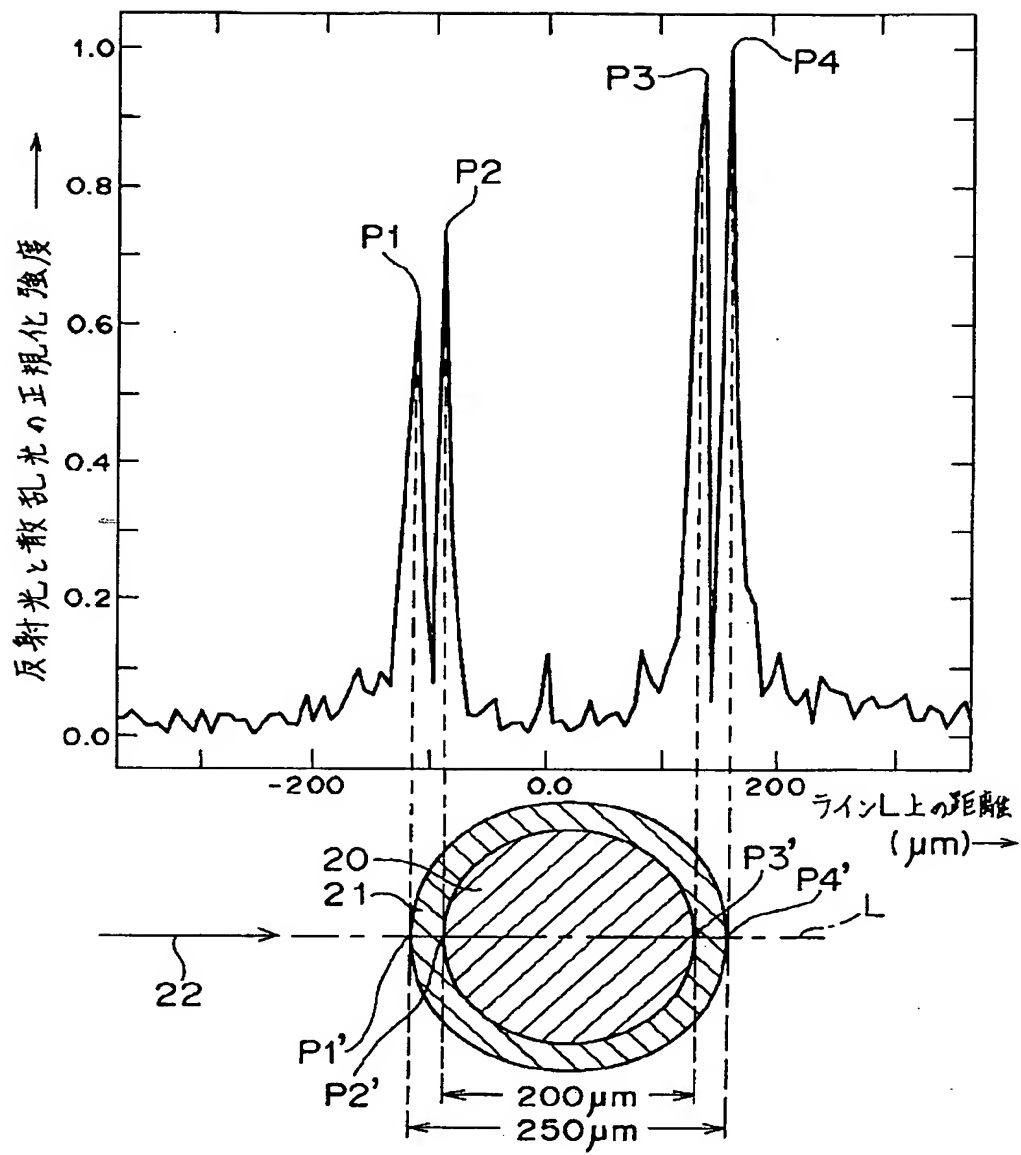
【図2】



【図1】



【図3】



【図4】

